

文章编号:1006—2106(2006)01—0096—04

加筋土式挡风墙优化研究

刘风华*

(中南大学轨道交通安全教育部重点实验室,湖南 长沙 410075)

摘要:研究目的:使车辆受到的气动力减小及挡风墙建设施工具有良好的经济性。

研究方法:采用二维粘性不可压缩雷诺平均应力方程,在横风风速为 35.1 m/s 时,路堤高度、挡风墙高度、设置位置不同条件下,对加筋土式挡风墙背风侧车辆的气动力进行数值模拟计算。

研究结果:确定了挡风墙最佳高度和最佳设置位置随路堤高度的变化规律。

研究结论:随着路堤高度的增大,挡风墙最佳高度不断的减小,但减小的幅度越来越小,而挡风墙的最佳设置位置变化幅度较小,基本在 3.4~3.5 之间。

关键词: 挡风墙;倾覆力矩;数值模拟;气动力;最佳高度;最佳设置位置

中图分类号: U216.41*3 **文献标识码:** A

STUDY ON THE OPTIMIZATION OF WIND-BREAK WALL OF THE REINFORCED CONCRETE SHAPED TYPE

LIU Feng-hua

Central South University Key Laboratory of traffic Safety on the Track, Ministry of Education

Abstract: Research purpose: In order to make the aerodynamic force of trains smaller and the construction of wind-break wall with good economics.

Research method: The numerical simulation calculation is carried out to the aerodynamic force of the train under wind-break wall with two dimension incompressible viscous N-S equation, when the cross-wind speed is 35.1m/s, the height and position of wind-break wall and the height of embankment is different.

Research result: the best height and position of wind-break varying with the height of embankment is established.

Research conclusion: The best height of wind-break wall is decreasing with the increase of height of embankment, and the extent is smaller. While the best position of wind-break wall has a little change from 3.4 meter to 3.5meter basically.

Key words: wind-break wall; capsized moment; numerical simulation; aerodynamic force; the best height; the best position

我国地域辽阔,气候多变,许多铁路线路处在风口和风沙地段。以亚欧大陆重要通道兰新线为例,穿越新疆大风戈壁地区,自然条件十分恶劣,其百里风区瞬时最大风速为 64 m/s^[1],是世界铁路之最。自通车以来,屡次发生整列车被吹翻的重大事故,大风季节,由于风

力过大,迫使列车经常停轮,大批旅客、货物被滞留,给旅客出行带来极大的不便,严重制约了西部经济的发展。为此,在铁路路堤的迎风侧修建挡风墙是一项重要的防风措施,合理确定挡风墙的最佳高度和最佳设置位置不仅能使车辆受到的气动力减小,而且对保证挡

* 收稿日期: 2005—11—04 刘风华 在读硕士研究生 女 1979 年 3 月出生

风墙建设施工具有良好的经济性更有重要意义。

1 控制方程

由美国 Fluent 公司推出的大型商用流场数值计算软件 FLUENT6.0 是一个具有强大功能的计算软件,采用目前应用最广泛又较成熟的有限体积法对方程求解;采用非结构网格生成技术对计算区域进行离散,并可生成混合网格,其自适应功能非常强,能对网格进行细分和粗化。由于采用了多种求解方法和多重网格加速收敛技术,因而 FLUENT 能达到最佳的收敛速度和求解精度。

列车是近地运行的长大物体,列车长度远大于其横向尺寸,当计算横风作用下列车受到的气动力时,可将其简化为二维问题处理。因横风风速小于 70 m/s ,其马赫数小于 $0.3^{[2]}$,计算时可按不可压缩流动处理。选用工程上应用较广的 $k-\varepsilon$ 双方程湍流模型,控制方程由连续性方程、动量方程(x, y 两个方向)、湍流模型(k, ε 两个方程)共 5 个方程组成,具体形式见参考文献[2,3]。

2 计算模型

在线路上运行的车型有高速车、普通客车、敞车、棚车、平车和罐车等,横风作用下,棚车的气动性能较差^[4],兰新线百里风区被大风吹翻的车辆大部分为棚车,故本次计算采用棚车作为车辆计算模型。挡风墙的形状及设置位置如图 1 所示,其中,一线为距离挡风墙较近的轨道线,二线为距离挡风墙较远的轨道线, L_1 为挡风墙的宽度, L_2 为一线轨道中心距离挡风墙的宽度, L_3 为线间距,即一线中心距与二线中心距的距离,本次计算是根据目前兰新线采用的最新线间距而定的,为 4.4 m 。

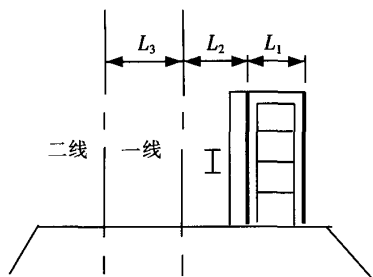


图1 挡风墙截面图

3 计算区域

考虑气流的绕流和流场的充分发展,计算区域的高度和宽度分别为 $100 \text{ m} \times 126 \text{ m}$,车辆底部距路面高度为 741 mm ,路堤高度为 1.5 m ,选取的计算区域具体

尺寸如图 2 所示。

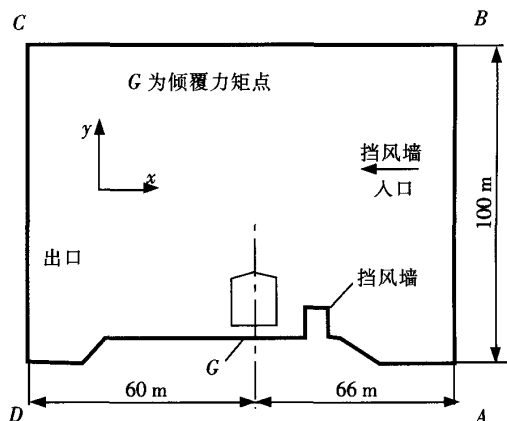


图2 计算区域示意图

4 边界条件、计算网格

本次计算流场边界条件设置如下:

(1) 车体表面:粘性流体在固定边界上应满足无滑移边界条件,因此,在车体表面均按光滑壁面处理,给定无滑移边界条件:

$$\vec{v}_{wall} = 0 \quad \text{即} \quad (u, v)_{wall} = 0 \quad (1)$$

(2) 入口(AB):在入口截面处,首先指定流体流动状态为亚音速状态, X 方向按均匀来流给定速度大小 v , Y 向速度为零,即:

$$(u, v)_m = (35.1, 0)_m \quad (2)$$

(3) 出口(CD):在出口截面处,出口静压为 0,即:

$$p_{out} = 0 \quad (3)$$

(4) 地面、挡风墙及计算区域顶面(AD、BC):地面及计算区域顶面均给定无滑移边界条件,同式(1)。

为考虑车体表面附面层^[5]对计算结果的影响,车体表面附近采用四边形网格,并对其进行了加密处理;远离车体表面均为三角形网格,计算区域总网格数为 30.2 万。图 3~5 分别为棚车车体表面附近局部网格、车体底部网格和挡风墙表面局部网格图。

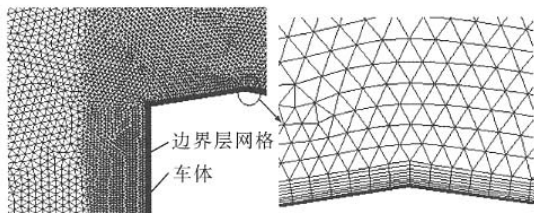


图3 棚车车体表面网格局部图

5 研究方法及其结果分析

5.1 研究方法

先固定一种路堤高度,然后将列车分别置于一线

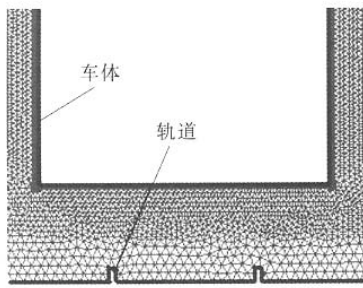


图 4 车体底部网格局部图

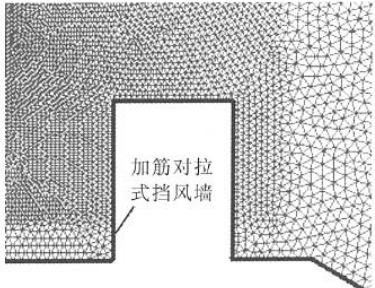


图 5 挡风墙表面局部网格图

和二线,计算车辆在强侧风作用下受到的气动力,通过改变挡风墙的高度和设置位置,得到在这一情况下挡风墙的最优形状和最佳设置位置。改变路堤高度,重复

上述过程就可得到挡风墙高度和设置位置随路堤高度的变化规律。现以 4.5 m 路堤高度为例,阐述挡风墙最佳高度的计算过程,见表 1 及图 6。

表 1 车辆倾覆力矩随挡风墙高度变化计算结果

挡风墙高度(m)	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3
(一线)倾覆力矩(N·m)	12 685	9 839	6 948	4 279	1 735	-1 410	-3 640	-6 399	-8 967
(二线)倾覆力矩(N·m)	-7 357	-8 697	-9 967	-11 300	-12 314	-13 620	-14 632	-15 687	-16 677

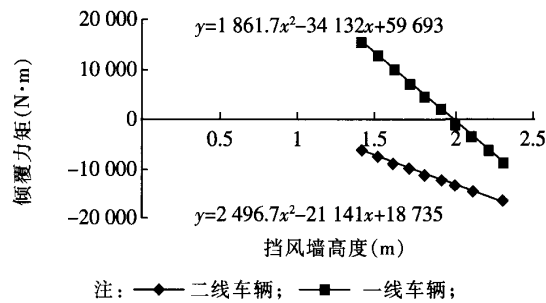


图 6 倾覆力矩随挡风墙高度变化曲线图

根据表 1 拟合得出的曲线及公式如图 6 所示,对函数:

$f(x)=abs(1861.7x^2-34132x+59693)+abs(2496.7x^2+21141x-18735)$ 进行优化,取得最小值点 $x=1.96$,此值即为同时满足一线和二线车辆倾覆力矩之和最小的挡风墙高度,在此高度挡风墙下,计算挡风墙的最佳设置位置。

表 2 车辆倾覆力矩随设置位置变化计算结果

设置位置(m)	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
(一线)倾覆力矩(N·m)	1 896	798	-340	-2 534	-3 231
(二线)倾覆力矩(N·m)	-12 721	-12 167	-8 084	-8 385	-8 231

由表 2 可知当设置位置为 3.5 m 时,一线和二线上的车辆受到的倾覆力矩均为最小,故为最佳设置位置。

同理,计算得出不同路堤高度下的挡风墙的最佳高度和最佳设置位置并拟合成曲线见表 3 及图 7。

表 3 最佳挡风墙高度和最佳设置位置随路堤高度变化计算结果

路堤高度(m)	0	1.5	3	4.5	6
挡风墙高度(m)	2.43	2.18	2.02	1.96	1.81
最佳设置位置(m)	3.5	3.5	3.4	3.5	3.4

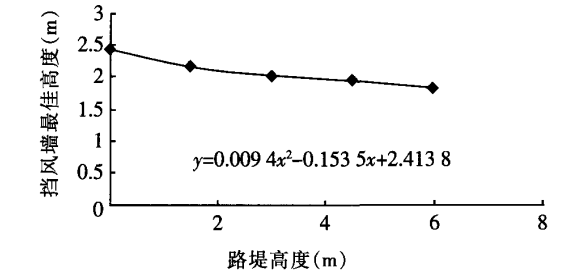


图 7 挡风墙最佳高度随路堤高度变化曲线

由表 3 可知,路堤高度不同,挡风墙最佳高度和最佳设置位置也不同,但不同路堤高度,挡风墙的最佳设置位置变化幅度较小,基本在 3.4~3.5 m 之间。由图 7 可知,随着路堤高度增大,挡风墙最佳高度不断减小,但减小的幅度越来越小,这是由于路堤具有导流作用,路堤越高,挡风墙迎风侧面越长,导流作用越强,挡风墙尾涡区相应增大,挡风墙的防风性能越好^[6]。

6.2 结果分析

图 6 表明,在一定高度的挡风墙下,车辆受到的倾覆力矩接近为零。从图 8~10 可知,产生这一规律的主要原因:气流遇到挡风墙受到挤压,在墙尖处产生流动分离,形成一个很薄的强剪切层,接近底部时,流体有返回分离区内,补偿了由于卷吸而出去的那部分流体,

故挡风墙背风侧形成一个强大的涡流区^[7-8],接着气流又在车辆侧墙与顶部的过渡处产生分离,在车辆的背风面也产生旋涡。由于挡风墙背风侧涡流区的存在,使车辆迎风面受到的压力降低,而且随着挡风墙的增高,车辆迎风面正压区减小,负压区增大,压力是从正到负的变化规律,故车辆受到的倾覆力矩也是从正到负的变化规律(见表1);在一定高度挡风墙下,车辆两侧压力值相抵,车辆的倾覆力矩接近为零,此时的挡风墙高度为最佳值。设置位置改变时,气流分离规律与上述类似。挡风墙高度一定时,随着设置位置逐渐远离车辆时,车辆迎风面的负压区逐渐增大,旋涡也逐渐增大。车辆在一定的设置位置时,车体周围所受的负压基本相等,车辆受到的倾覆力矩基本为零,故此时车辆最稳定。

以上分析均以一线为例,二线规律类似。本文为便于比较一线和二线城市车辆受到的倾覆力矩的不同,故选用挡风墙高度变化一致的工况,这对于二线城市来讲,挡风墙的高度都过高了,所以按照图2中坐标规定的方向,二线城市车辆受到的倾覆力矩都为负值(见表1和2中二线城市车辆受到的倾覆力矩值)。

7 结论

(1) 对表3进行插值可得出任意路堤高度下挡风墙的最佳高度。

(2) 路堤高度不同,挡风墙最佳高度也不同,并且随着路堤高度的增大,挡风墙最佳高度不断的减小,但减小的幅度越来越小。因此,本文建议,不同的路堤高度应采用不同高度的挡风墙,以减小车辆的气动力和工程造价。

(3) 路堤高度不同,挡风墙的最佳设置位置也不同,但变化的幅度较小,基本在3.4~3.5之间。

参考文献:

- [1] 王厚雄等.挡风墙高度的研究[J].中国铁道科学,1990,11(1):14-22.
- [2] 费祥麟,胡庆康,景思睿.高等流体力学[M].西安:西安交通大学出版社,1989.

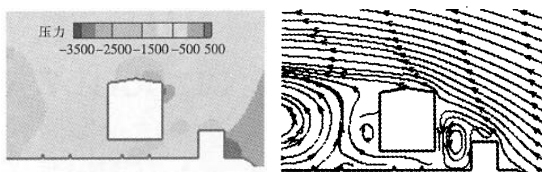


图8 设置位置为3.5 m,挡风墙高度为1.5 m时的压力及速度云图

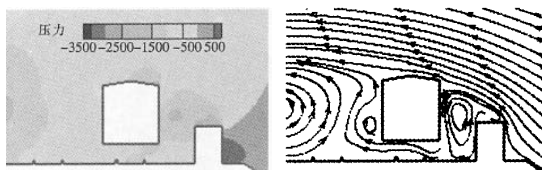


图9 设置位置为3.5 m,挡风墙高度为1.96 m时的压力及速度云图

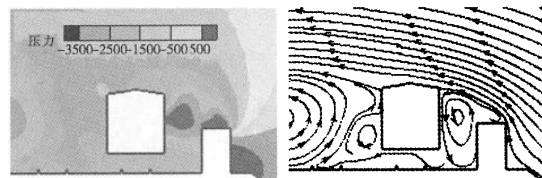


图10 设置位置为3.5 m,挡风墙高度为2.3 m时的压力及速度云图

- [3] [美] 吴建民主编,陈则霖,吴文正编译.高等空气动力学[M].北京:北京航空航天大学出版社,1992.
- [4] 井门敦志等.高速车辆の空气抵抗とその低減に关する风洞试验.日本铁道总研报告[R],1995,9(1):32-37.
- [5] Kronke, H. Sockel. Model test about cross wind effects on containers and wagons in a atmospheric boundary layers[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 1994 (52) : 109-119.
- [6] Coleman, S. A., Baker, C. J., High sided road vehicles in cross winds[J]. J.of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1990, 33:429-438.
- [7] 种田胜二,铃木实,前田达夫.横风に対する车辆の空气力学的特性风洞试验.日本铁道综研报告[R],1999,13(12):47-52.
- [8] 前田达夫.横风に対する车辆の空力特性に关する数值シミュレーション.日本铁道综研报告[R],1990,(2):54-61.

(编辑 马丽)

(上接第73页)

- [5] 吴治生.南岭隧道地质灾害及其综合整治[J].中国地质灾害与防治学报,1993(2):72-78.
- [6] 吴治生,杜兴国.衡广复线铁路南岭隧道岩溶工程地质特征[J].铁道工程学报,1996(2):75-82.
- [7] 大瑶山隧道设计总结[Z].武汉:铁道部第四勘测设计院,1992.

- [8] 铁道部科学研究院,西南交通大学.既有隧道环境地下水变化规律以及环境生态平衡影响的评估[Z],1996.
- [9] 岩溶与铁道工程和环境地质的研究[Z].武汉:铁道第四勘察设计院,2004.

(编辑 马丽)

作者: [刘风华](#), [LIU Feng-hua](#)
作者单位: [中南大学轨道交通安全教育部重点实验室, 湖南, 长沙, 410075](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2006(1)
被引用次数: 7次

参考文献(8条)

1. [王厚雄](#) [挡风墙高度的研究](#) 1990(01)
2. [费祥麟](#); [胡庆康](#); [景思睿](#) [高等流体力学](#) 1989
3. [吴建民](#); [陈则霖](#); [吴文正](#) [高等空气动力学](#) 1992
4. [井门敦志](#) [高速车辆の空气抵抗とその低減に关する风洞试验](#) 1995(01)
5. [Kronke, H. Sockel](#) [Model test about cross wind effects on containers and wagons in a atmospheric boundary layers](#)[外文期刊] 1994(52)
6. [Coleman, S. A](#); [Baker, C. J](#) [High sided road vehicles in cross winds](#)[外文期刊] 1990
7. [种田胜二](#); [铃木实](#); [前田达夫](#) [横风に対する车辆の空气力学的特性风洞试验](#) 1999(12)
8. [前田达夫](#) [横风に対する车辆の空力特性に关する数值シミュレーション](#) 1990(02)

本文读者也读过(10条)

1. [姜翠香](#), [梁习锋](#), [JIANG Cui-xiang](#), [LIANG Xi-feng](#) [挡风墙高度和设置位置对车辆气动性能的影响](#)[期刊论文]-[中国铁道科学](#)2006, 27(2)
2. [刘风华](#), [LIU Feng-hua](#) [不同类型挡风墙对列车运行安全防护效果的影响](#)[期刊论文]-[中南大学学报\(自然科学版\)](#) 2006, 37(1)
3. [兰新铁路“百里风区”挡风墙经受12级大风考验](#)[期刊论文]-[中国铁路](#)2004(6)
4. [孙成访](#), [董汉雄](#), [胡智炜](#), [Sun Chengfang](#), [Dong Hanxiong](#), [Hu Zhiwei](#) [兰新铁路百里风区挡风墙设计](#)[期刊论文]-[铁道建筑](#)2009(6)
5. [马存明](#), [李佳圣](#), [廖海黎](#) [兰新铁路列车横风稳定性3D数值风洞研究](#)[会议论文]-2006
6. [董汉雄](#), [Dong Hanxiong](#) [兰新铁路百里风区挡风墙设计](#)[期刊论文]-[路基工程](#)2009(2)
7. [贾国裕](#) [兰新铁路大风灾害及其对策](#)[期刊论文]-[路基工程](#)2008(2)
8. [郑晓静](#), [马高生](#), [黄宁](#) [铁路挡风墙挡风效果和积沙情况分析](#)[会议论文]-2009
9. [庞巧东](#), [程建军](#), [蒋富强](#), [李凯崇](#) [戈壁铁路挡风墙背风侧流场特征与挡风功效研究](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2011(2)
10. [高永平](#), [GAO Yong-ping](#) [兰新铁路的防风工程](#)[期刊论文]-[路基工程](#)2010(z1)

引证文献(7条)

1. [张勇](#), [邓斌](#) [对拉式挡风墙高度和位置对接触网的影响](#)[期刊论文]-[机械](#) 2011(6)
2. [黄尊地](#), [梁习锋](#), [钟睦](#) [基于Kriging模型的挡风墙优化设计](#)[期刊论文]-[中南大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(7)
3. [郑晓静](#), [马高生](#), [黄宁](#) [铁路挡风墙挡风效果和积沙情况分析](#)[期刊论文]-[中国沙漠](#) 2011(1)
4. [黄尊地](#), [常宁](#) [兰新高速铁路挡风墙合理高度研究](#)[期刊论文]-[五邑大学学报: 自然科学版](#) 2012(2)
5. [韩佳栋](#), [张勇](#), [刘晓红](#), [曹树森](#) [强风区挡风墙高度和位置对接触网区域风速的影响](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2012(10)

6. [杨斌](#), [刘堂红](#), [杨明智](#) [大风区铁路挡风墙合理设置](#)[期刊论文]-[铁道科学与工程学报](#) 2011(3)
7. [田红旗](#) [中国恶劣风环境下铁路安全行车研究进展](#)[期刊论文]-[中南大学学报（自然科学版）](#) 2010(6)

引用本文格式: [刘风华](#), [LIU Feng-hua](#) [加筋土式挡风墙优化研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006(1)